

DIGESTIÓN ANAERÓBICA SEMISECA DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES (FOM)

Cruz Mercedes C.¹, Plaza Gloria del C.²

Facultad de Ciencias Naturales - INENCO – CIUNSa - Universidad Nacional de Salta
Avda. Bolivia 5150. CP 4400. Salta. Argentina Fax: 0387 - 4255489 – Tel: 0387 - 4255424
merceci18@yahoo.com.ar - gloria@inenco.edu.ar

RESUMEN

Se realizó el diseño de biodigestores discontinuos a escala laboratorio, para el tratamiento anaeróbico semiseco de la fracción orgánica de los residuos municipales (FOM). Se comparan los resultados de dos experiencias consecutivas con inoculación diferente (una con estiércol vacuno y otra con sustrato digerido). La utilización de la biomasa digerida en la primera experiencia como inóculo de la segunda resultó satisfactoria tanto para la producción de biogas como para la estabilidad del sistema. También se analiza en la segunda experiencia la aplicación de un sistema de recirculación de lixiviado para controlar la acidez y alcalinidad del proceso, obteniéndose un 37% mas de volumen total de biogas producido que en el digestor sin recirculación.

La tecnología estudiada es factible de proyectar a escala superior, con los beneficios de mitigación de cambio climático por aprovechamiento del gas metano como fuente de energía renovable a partir del tratamiento anaeróbico de la FOM.

PALABRAS CLAVES: digestión anaeróbica semiseca, fracción orgánica municipal, bioreactor, inóculo, biogás

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Salta la tecnología aplicada para la disposición final de los residuos domiciliarios sin segregación es la de relleno sanitario. La misma se encuentra en inadecuada operación y ubicación, ocasionando serios problemas ambientales.

La Fracción Orgánica Municipal (FOM), para Salta, constituye el 55,4 % de la composición total de la producción de residuos domiciliarios (Plaza et al., 1994). Existen distintas tecnologías de tratamiento aeróbicas y anaeróbicas. La tecnología anaeróbica tiene como ventaja el aprovechamiento energético. El biogás generado -mezcla de gases conteniendo metano (50 a 70%), anhídrido carbónico (30 a 45%), hidrógeno (1 a 3%), oxígeno (0,5 a 1%), gases diversos (1 a 5%) y vestigios de anhídrido sulfuroso (Lockett, 1997)- es posible aprovecharlo como una fuente de energía renovable y al material sólido resultante como mejorador de suelo. Diversas experiencias al nivel internacional demuestran que la digestión anaeróbica es una tecnología atractiva para el tratamiento de los residuos orgánicos (Ten Brummeler, 1993).

El biogas producto del tratamiento de los residuos orgánicos constituye una alternativa de combustible para los sectores sociales marginales de bajos recursos económicos (asentamientos) que no poseen conexión a la red de gas y actualmente debido al elevado costo del gas envasado están recurriendo a la tala indiscriminada de árboles de los alrededores de la ciudad para utilizarlos como leña (Plaza et al, 2004).

Asimismo, al tratar la fracción orgánica en biodigestores con tecnología para recolectar y aprovechar el biogas se disminuye el aporte de gas metano al efecto invernadero (21 veces más potente que el CO₂). La tecnología de disposición final de los residuos domiciliarios en rellenos sanitarios es la fuente antropogénica más importante de generación de CH₄, el gas se ventea a la atmósfera, no siendo adecuado para su uso como combustible por su baja calidad, al no existir separación de las distintas fracciones componentes de los residuos sólidos.

Por lo tanto, la implementación de este tratamiento ocasionaría un importante impacto ambiental y socio-económico positivo.

La digestión anaeróbica semiseca comprende el tratamiento de un sustrato con mas de 15% y menos del 20 % de Sólidos Totales (ST). La misma, tiene la ventaja de la no incorporación de agua a la carga con fines de optimización del proceso. Los residuos se procesan con la misma humedad que estos poseen, además, se aumenta el volumen útil del digestor pudiendo incorporar mayor cantidad de sustrato (Cecchi et al, 1992). Otras tecnologías anaeróbicas con concentraciones entre 7 y 9 % de sólidos totales (ST) necesitan agregado de agua a los residuos antes de su tratamiento (Gropelli y Giampaoli, 2001), aumentando los costos de implementación y utilizando un recurso escaso.

¹ Facultad de Ciencias Naturales

² Facultad de Ingeniería

En el presente trabajo se estudia el tratamiento anaeróbico semiseco (18% ST) en dos experiencias consecutivas (la primera con inoculación de estiércol vacuno y la segunda utilizando como inóculo el sustrato digerido de la primera). Se analiza el sistema de recirculación de lixiviado para controlar la acidez y alcalinidad del proceso.

MATERIALES Y MÉTODO

Se diseñaron dos reactores a escala laboratorio de funcionamiento discontinuo.

Se realizaron dos experiencias consecutivas (la primera inoculada con estiércol vacuno y la segunda utilizando como inóculo el sustrato digerido de la primera).

En la segunda experiencia comparativa, a una de las unidades se le incorporó un sistema de recirculación de lixiviado (R1), por medio del mismo se pudo obtener muestras del líquido para realizar el control de acidez y alcalinidad a partir del sexto día de operación. Se compara la primera experiencia con el ensayo sin recirculación (R2) de la segunda.

Los reactores consisten en un recipiente de vidrio, con una capacidad de tres litros cada uno, con dos rejillas de plástico inerte que sostienen seis tubos plásticos perforados colectores de gas hacia la parte superior. Un tubo de vidrio (no perforado) se conecta a la llave de salida de gas que comunica al gasómetro.



Foto 1. Bioreactores a escala laboratorio

El sistema de medición del volumen de gas producido consistió en un gasómetro, recipiente de vidrio de 4 litros de capacidad llenado con agua hasta sus $\frac{3}{4}$ partes, que además de estar conectado al digestor también lo está a una bureta de 50 ml, por medio de la cual es posible realizar la lectura del volumen de gas. A su vez posee una conexión de depuración de gas por donde se tomaron muestras del mismo para analizar la composición porcentual en CH_4 y CO_2 .

Las experiencias se llevaron a cabo en una cámara termostatzada a 32 ± 4 °C. Al ser la digestión anaeróbica un proceso sensible a la temperatura, se mejoró el control de este parámetro colocando una estructura de poliestireno expandido alrededor de los reactores para amortiguar la acción directa de los cambios de la onda térmica, logrando una temperatura estable de $29 \pm 1,5$ °C.

Los parámetros diarios que se midieron en las dos experiencias son: volumen de biogas generado, composición porcentual del biogas, temperatura ambiente, temperatura de los reactores. En el segundo ensayo a partir del sexto día en el R 1 se realizó la recirculación del lixiviado generado. Se caracterizó el lixiviado en los parámetros de pH, acidez y alcalinidad según Standard Methods. Se realizaron los controles con solución de bicarbonato de sodio con una concentración de 5% p/v cuando los niveles se encontraban por debajo de los recomendados (Cecchi et al, 1992).

La fracción orgánica utilizada como sustrato del biodigestor consistió en restos de comida, de frutas, de verduras recolectadas en los domicilios particulares y de las confiterías de la UNSa. (ver Tabla 1 y 2). Se trituró hasta un diámetro aproximado de 5 mm como máximo, para lograr un mejor contacto entre las bacterias y el sustrato.

Experiencia 1	Composición Porcentual
FOM	51
Estiércol	49

Tabla 1. Experiencia 1. Composición de la carga.

Experiencia 2	Composición Porcentual
FOM	73
Inóculo	27

Tabla 2. Experiencia 2. Composición de la carga.

Se caracterizó el sustrato al inicio y al final del ensayo previa trituración y homogeneización de la muestra. Se realizaron análisis físico-químico en los siguientes parámetros: Sólidos totales, sólidos volátiles, humedad, cenizas, ácidos grasos volátiles (AGV) y alcalinidad (Alk).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización inicial de la carga de las experiencias 1 y 2 se muestran en la Tabla 1.

La alcalinidad mayor y menor acidez de la experiencia 2 permite predecir un sustrato más estable en su inicio. Sin embargo, la estabilidad del proceso será analizada mediante el bioensayo.

	Experiencia 1	Experiencia 2
ST (%)	17,2	18,7
SV (% de ST)	74,5	68,9
Humedad (%)	82,8	81,3
Cenizas (%)	25,5	31,1
pH	6,89	6,12
Alk (mg CaCO ₃ /L)	3872	5650,7
AGV (mg CaCO ₃ /L)	3950	2420

Tabla 1. Caracterización del sustrato inicial

La producción de biogas obtenida durante la primera y segunda experiencia se muestra en la Figura 1.

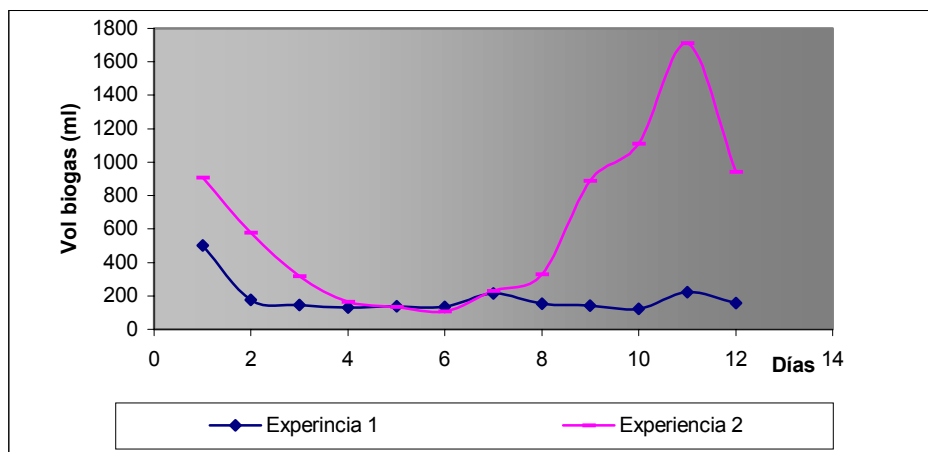


Figura 1. Producción diaria de biogas

En ambas experiencias se observa una fuerte disminución de la producción de biogas en el sexto día. Sin embargo en la segunda experiencia el sustrato tiene capacidad para reactivarse hasta llegar a un pico de generación de 1710,4 ml el día 11 de operación y luego declina. En este momento se le realiza un agregado de bicarbonato de sodio 5% p/v.

Comparando los volúmenes de biogas obtenidos en el mismo tiempo de retención y sin agregación de bicarbonato de sodio (en la experiencia) fueron significativamente diferentes. La primera contenía mayor porcentaje de estiércol vacuno como inóculo por lo que el contenido en metano del biogas fue mayor en los primeros días, en el caso de la segunda la concentración de metano fue incrementándose progresivamente. (Figura 2)

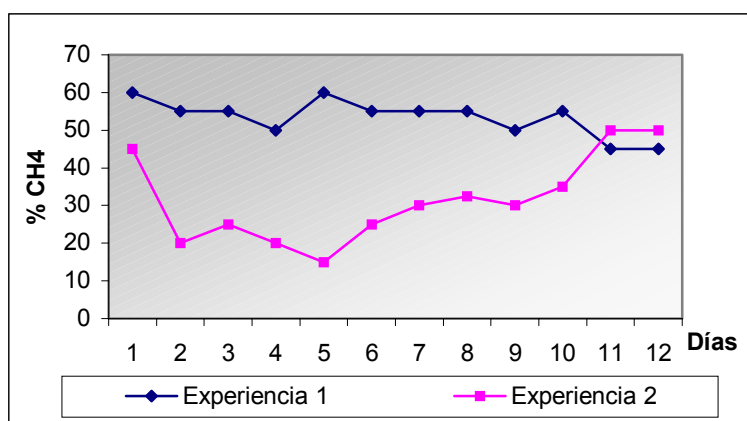


Figura 2. Composición porcentual de metano en el biogas

La inoculación en la segunda experiencia con sustrato digerido de la experiencia anterior da lugar a una alta generación de biogas, con concentraciones de metano progresivamente en aumento. Este bioensayo demuestra que la obtención de un pool bacteriano apropiado es importante para la puesta en marcha de bioreactores. Asimismo, la segunda experiencia muestra capacidad de equilibrio en las etapas acidogénica y metanogénica por lo que la experiencia resulta estable.

Experiencia 2

En la experiencia 2 se ensayaron dos reactores conteniendo el mismo sustrato cuya caracterización se muestra en la tabla 1.

Los volúmenes de biogas obtenidos se muestran en las Figuras 3 y 4.

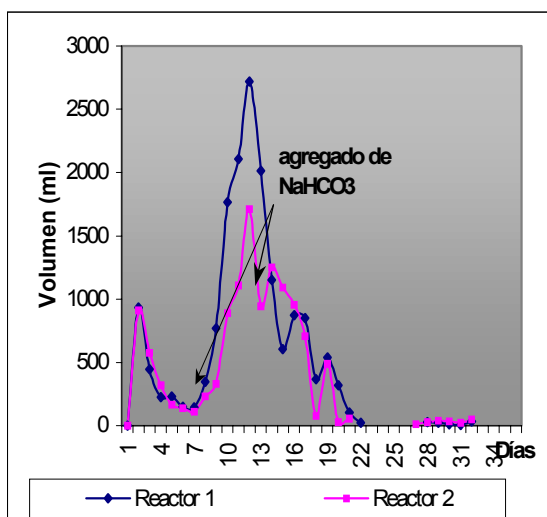


Figura 3. Producción diaria de biogas

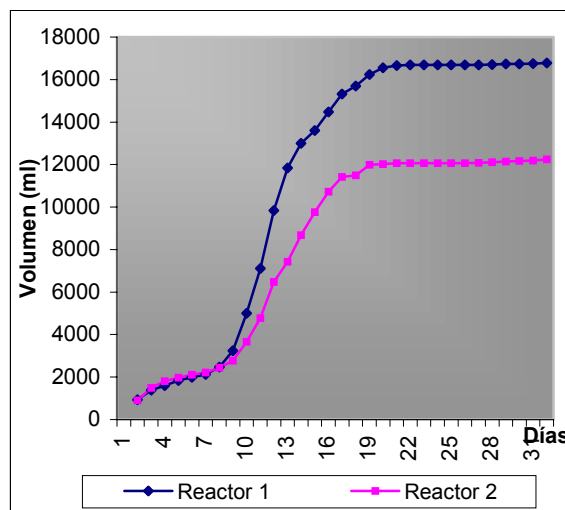


Figura 4. Producción acumulada de biogas

La producción de biogas fue inmediata, luego declinó continuamente hasta llegar a un 84% de la producción inicial en el quinto día en ambos reactores. En los primeros días se observa la alta generación de CO_2 , como resultado de la etapa acidogénica. A partir del sexto día comienza un incremento en la producción de biogas en los dos reactores (Figura 3) incrementando paralelamente la concentración de metano (Figura 5). El primer control de pH en el R 1 comenzó el día 6 y se inició la recirculación diaria de 20 a 50 ml de lixiviado (el volumen recirculado se incrementó a medida que se iba generando lixiviado en el digestor). Después de esta acción es notable el incremento en la producción de biogas en el R 1. A pesar de no controlar la acidez ni recircular lixiviado en el R 2, el proceso se desarrolló favorablemente generando biogas hasta un pico de 1710 ml.

Cuando disminuyó la producción de biogas en el R 2 (el 12° día) se controló con solución de bicarbonato de sodio, observándose la reactivación del mismo los días siguientes incluso con generaciones superiores al R 1. Luego se observan, en ambos reactores, pequeños aumentos coincidentes hasta el día 21. Posteriormente los volúmenes medidos fueron poco relevantes.

El volumen total de biogas producido en el R 1 es un 37% superior al volumen del R 2. Con un total de 16.779,65 ml de biogas en R 1 y de 12.240,95 ml en R 2.

Como se observa en la Figura 5 el porcentaje de CH_4 presente en la composición del biogas generado al principio fue bajo, incrementándose paulatinamente hasta alcanzar un pico de 65 % en el R 1 y de 60 % en el R 2. En el R 1 el bajo porcentaje de CH_4 observado antes del día 10 se debió a la siguiente reacción:



El control de alcalinidad con el agregado de bicarbonato y la presencia de ácidos grasos volátiles (AGV) posibilita el incremento de la producción de CO_2 . En los días posteriores al estabilizarse aumentó gradualmente la concentración de CH_4 .

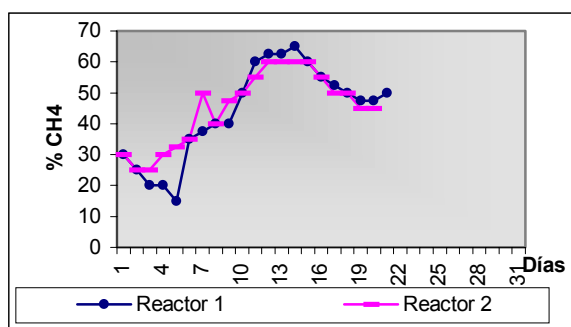


Figura 5. Composición porcentual en metano presente en el biogas generado

El pH se controló por medio del agregado de una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3), hasta alcanzar un pH alcalino el noveno día de operación, una vez logrado el pH requerido no se realizaron adiciones de la solución, ya que el mismo se mantuvo constante. (Figura 6)

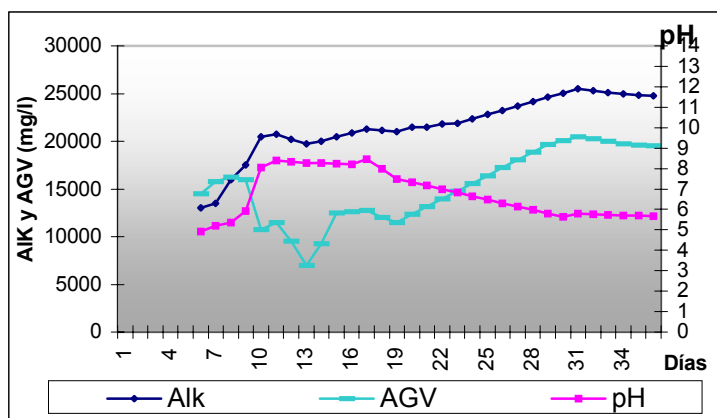


Figura 6. Valores pH, acidez (AGV) y alcalinidad (Alk) en el lixiviado del R 1

El valor de alcalinidad en el R 1 a pesar de no agregársele la solución básica (a partir del noveno día) se incrementó, lo mismo sucedió con el de acidez (AGV).

En la figura 7 se compara la producción de biogas en el R 1 con los valores de alcalinidad y acidez. Se observa que el pico (2718,7 ml) se produce cuando la alcalinidad aumenta mientras la acidez disminuye. Luego la producción de biogas declina mientras la acidez aumenta.

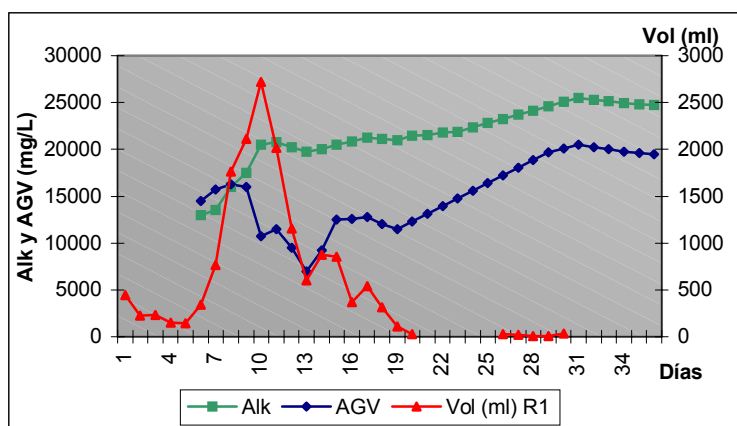


Fig 7. Alcalinidad, acidez y volumen de biogas en R 1

CONCLUSIONES

La utilización de un inóculo proveniente de un sustrato digerido es eficiente para la iniciación y posterior estabilización del proceso.

El sistema de recirculación de lixiviado es adecuado para poder realizar los controles permanentes del digestor tanto en pH como alcalinidad y acidez. Se verifica que la recirculación del lixiviado es necesaria cuando en el sistema no hay agitación, para aumentar el contacto entre bacterias, sustrato y otros compuestos logrando una alta generación de biogas.

El volumen de biogas producido en el reactor con recirculación de lixiviado es un 37% superior que en el reactor sin recirculación.

En ambos reactores se logra concentraciones de metano superiores al 60%, siendo factible su aprovechamiento como combustible. La tecnología estudiada es importante para la mitigación del cambio climático al tener un sistema integrado de captura y aprovechamiento de metano proveniente de la biodegradación anaeróbica de la FOM. El escalamiento aportará soluciones concretas a la problemática del calentamiento global

ABSTRACT

It was designed batch biodigestors in laboratory scale, for the semi-dry anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). It was compared the results of two consecutive experiences with different inoculation (one with bovine manure and other with digested substrate). The use of the biomass digested in the first experience like inoculum of the second one was adequated for the production of biogas and for the system stability. Also, it was analyzed, in the second experience, the application of a leachate's recirculation system to control the acidity and alkalinity of the process, the total volume biogas production was 37% more than the digestor without recirculation.

The studied technology is feasible for projecting the full scale. The utilization of the methane as renewable source of energy from anaerobic digestion of the OFMSW has high benefits for the climatic change mitigation.

KEYWORDS: semi-dry anaerobic digestion, organic fraction municipal, bioreactor, inoculum, biogas

REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA) American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF) Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19^o Edition. Eaton, AD. Washington.1995
- Bonzonella D., Innocenti L., Pavan P., Traverso P., Cecchi F. (2003) *Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: focusing on the start-up phase*. Bioresour Technology. January 86(2):123-9
- Cecchi F., Mata Alvarez J., Pavan P., Sans C., Merli C. (1992) *Semi-dry anaerobic digestion of MSW: influence of process parameters on the substrate utilization model*. Wat. Sci. Tech Vol 25, N° 7, pp83-92.
- Gropelli E., Giampaoli O. (2001) *El camino de la biodigestión. Ambiente y tecnologíasocialmente apropiada*. Centro de Publicaciones, Secretaría de Extensión. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina.
- Lockett, W. (1997) *Digestores de gas metano para obtener combustibles*, The New Alchemy Institute West, pp. 45-59
- Plaza G., Cruz M., Pasculli M. (2004) *Aprovechamiento energético y mitigación del cambio climático a partir del tratamiento anaeróbico de la fracción orgánica municipal*. Presentado en Conferencia Internacional “Rellenos Sanitarios para América Latina” ISWA –ARS. Buenos Aires, Marzo 2004
- Plaza G., Pacheco O., Robredo P., Di Veltz H., Saravia Toledo A. *Muestreo de residuos municipales clasificados*. 17ava Reunión Nacional de Energía Solar y Fuentes Alternativas. Rosario, Octubre de 1994.
- Plaza G., Robredo P., Pacheco O., Saravia Toledo A., Jerez O. *Tratamiento anaeróbico de la fracción orgánica municipal*. 17ava Reunión Nacional de Energía Solar y Fuentes Alternativas. Rosario, Octubre de 1994.
- Ten Brummeler E. (1993) *Dry anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste*, Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la colaboración del Tecn. Enrique Saca por su asesoramiento y colaboración en los ensayos de laboratorio.